

УДК 681.883:656:551

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.13

ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ГІДРОАКУСТИЧНИХ ПЕРЕШКОД СТРУМЕНЕВИМИ ВИХОДАМИ ГАЗУ З МОРСЬКОГО ДНА

І. І. ГЛАДКИХ¹, Б. Б. КАПОЧКІН², Н. В. КУЧЕРЕНКО^{2}, М. Б. КАПОЧКІНА²*¹МПП «ТСБ», м. Одеса, УКРАЇНА²Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, УКРАЇНА

*e-mail: tsb1@ukr.net

АНОТАЦІЯ Метою роботи є визначення фізичного механізму генерації акустичних образів струменевих виходів газу з морського дна. Для досягнення зазначеної мети, досліджена залежність розсіювання і відбиття звуку у водному середовищі від частоти звуку та діаметра бульбашок. Розглянуто проблему формування газовими потоками метану, що виділяється з морського дна, природних акустичних перешкод. Показано, що в Чорному морі виявлено понад 5000 газових виходів. Вивчено просторові масштаби газових виходів у Чорному морі, що створюють природні акустичні перешкоди. Розглянуто теоретичні питання диференціації розсіювання і відбиття звуку від газових бульбашок різного розміру від частоти акустичних хвиль. На прикладі газових бульбашок, утворених поверхневим хвилюванням (розміри бульбашок вимірюються першими міліметрами) і бульбашок метанових газових струменів (характерні розміри бульбашок вимірюються практично сантиметрами), показані відмінності фізичних механізмів їх фіксації методами гідроакустики. Зроблено висновок, що в частотному діапазоні 40-50 кГц газові струмені створюють мінімальні перешкоди. Наведено результати експериментальних робіт з вивчення гідроакустичних перешкод, створюваних газовими бульбашками з використанням гідроакустики на робочій частоті 60 кГц. Експеримент, виконаний з використанням гідроакустатора, генератора газових бульбашок, телекерованого підводного апарату. В якості цілі був задіяний аквалангіст.

Ключові слова: газові бульбашки; розсіювання звуку; відбиття звуку; резонансна частота розсіювання акустичного сигналу; гідроакустика; звукові акустичні хвилі; ультразвукові акустичні хвилі.

PHYSICAL PRINCIPLES OF CREATION HYDROACOUSTIC BARRIER GAS JET EXIT FROM THE SEABED

I. GLADKYKH¹, B. KAPOCHKIN², N. KUCHERENKO^{2}, M. KAPOCHKINA²*¹Private Company «TSB», Odessa, UKRAINE²Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium ", Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The aim of the work is to determine the physical mechanism for generating acoustic images of jet gas exits from the seabed. To achieve this goal, the dependence of the sound scattering in water on the frequency of sound and bubble diameter is investigated. The problem of formation of gas streams of methane, which is released from the seabed - natural acoustic barrier, is considered. It has been shown that more than 5,000 gas exits have been identified in the Black Sea. The spatial scales of gas outlets in the Black Sea creating acoustic barrier are studied. The theoretical questions of the differentiation of scattering and reflection of sound from gas bubbles of different sizes, depending on the frequency of radar of a sonar, are considered. In the example of the gas bubbles formed by surface excitement (the dimensions are measured by the first millimeters) and bubbles of methane gas jets (the dimensions of the bubbles are measured in centimeters), the differences in the physical mechanisms of their fixation by sonar are shown. It has been shown that for gas jets, the frequency range of 40-50 kHz is least affected by the negative influence of hydroacoustic barrier generated by gas outlets from the seabed. The results of experimental work on the study of hydroacoustic barrier for hydroacoustic locators with a working frequency of 60 kHz, created by gas bubbles with a centimeter diameter are given. The experiment was carried out using a sonar, a gas bubble generator, a remote-controlled underwater vehicle. A diver was used as a target.

Keywords: gas bubbles; scattering of sound; reflection of sound; resonance frequency of scattering of an acoustic signal; hydroacoustics; acoustic sound; ultrasonic acoustic waves.

Вступ

Виділення метану у вигляді бульбашок є типовим для всіх шельфових районів Світового океану. Найбільш інтенсивні виділення метану виявлено в Арктиці. Нами були виконані дослідження негативного впливу виходів газу з морського дна на ефективність застосування гідроакустичних систем моніторингу підводної обстановки в районі

Севастополя [1]. В зазначеній роботі показано, що просторові масштаби виділення газу з морського дна є значними і створюють у водному середовищі значні природні акустичні перешкоди. Результати дослідження підтверджують результати, отримані іншими авторами [2]. За експертними оцінками, щорічно з дна північно-західної частини Чорного моря у водну товщу у вільному вигляді (газові бульбашки) поступає до $1.85 \cdot 10^9$ м³ метану, а з

акваторії Азовського моря - до $100 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ метану [3]. Як показано в монографії [4], у Чорному морі виявлено більше 5 тисяч місць газовиділень з морського дна. У виключній економічній зоні України велика кількість скупчень виходів метану з морського дна виявлені і в районі Кримського півострову (рис. 1).

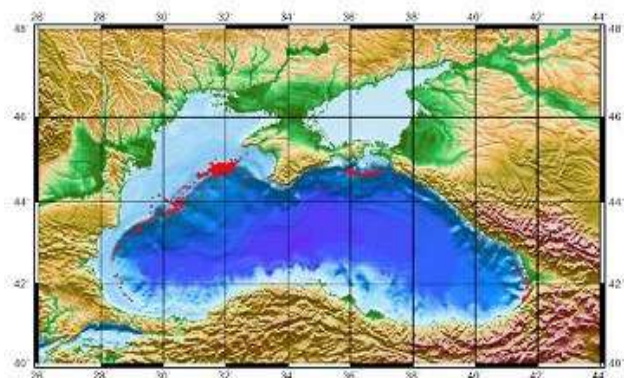


Рис. 1 - Карта-схема струминних газових виділень у Чорному морі на континентальному схилі [4]

Слід зазначити, що струменеві виходи газу не виявлені в районах газових родовищ. Умови деформованості земної поверхні, розглянуті в роботі [5], дають підстави очікувати виділення метану в районах газових родовищ, але цього не зафіксовано. Виходи метану з морського дна фіксуються вздовж рельєфоутворюючих тектонічних порушень, проявлених у районі материкового схилу. Аналогічна ситуація з розвантаженням газу з морського дна за даними монографії [4], зафіксована в районі Керченської протоки (рис. 1.)

Вважається, що виходи метану з морського дна проявляються виключно вздовж тектонічних порушень. Нами визначено, що геодформаційний процес, який характеризується трьома типами деформацій, дозволяє очікувати підвищений рівень геодформацій (у вигляді розтягування земної кори) не тільки на межах тектонічних блоків, а й в середині тектонічного блоку. На нашу думку така ситуація проявлена на карті газових виходів (рис. 2).

Уявлення про потоки метану з морського дна дає рис. 3, на якому показано, що дебіт газу може досягати 500 л / хв.

Мета роботи

Враховуючи те, що у виключній економічній зоні України виявлено значні площі акваторій, де газовими бульбашками формуються природні акустичні перешкоди, різко підвищується актуальність та практичне значення дослідження фізичних принципів створення виходами газу з морського дна гідроакустичних перешкод. Метою роботи є визначення фізичного механізму генерації

акустичних образів струменевих виходів газу з морського дна. Для досягнення зазначеної мети, необхідно дослідити залежність розсіювання звуку у воді від частоти звуку та діаметру бульбашок.



Рис. 2 - Струменеві газовиділення (чорні точки) та основні геофізичні структури в північно-східному районі Чорного моря [6]

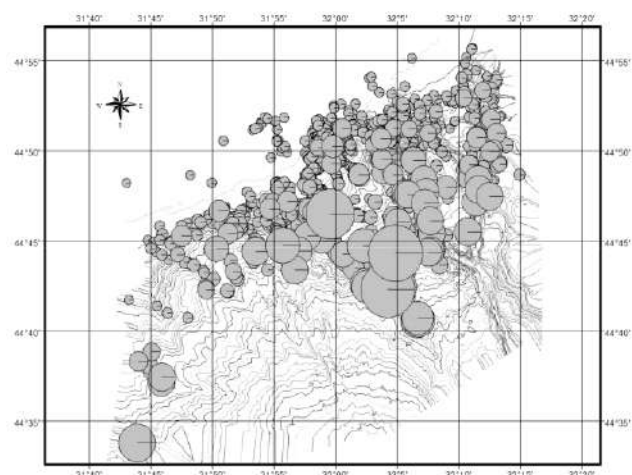


Рис. 3 – Карта місць розвантаження метану в районі палео-дельти р. Дніпро. Діаметр кругових діаграм відповідає величині потоку метану. Найменший діаметр відповідає значенню 0.01 л / хв., найбільший - 509.8 л / хв. [3]

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вплив газових бульбашок на ефективність застосування ехолоту найчастіше досліджується в аспекті негативного впливу бульбашок, які виникають у поверхневому шарі за рахунок хвилювання, на його роботу. Загальновідомо, що бульбашки, що генеруються поверхневим хвилюванням, найбільш негативно впливають на роботу ехолота з робочими частотами в діапазоні 20-30 кГц. Однак, застосування височастотних ехолотів дає більший ефект. Ці дослідження відрізняється від напрямку наших досліджень тим, що у поверхневому шарі генеруються бульбашки, розміри яких значно менші розмірів бульбашок газу, який виділяється з морського дна.

Так, на рис. 4 показано зміни ступеня розсіювання звуку бульбашками повітря в поверхневому шарі під час хвилювання, в залежності від частоти ехолотування [7]. В роботі показано, що бульбашки діаметром більше 0.5 мм спливають до поверхні, дрібні бульбашки діаметром близько 0.025 мм розчиняються у воді, а бульбашки середніх розмірів (0.07-0.3 мм) існують довше дрібних і великих, тому вони мають найбільшу концентрацію в об'ємі води поверхневого шару.

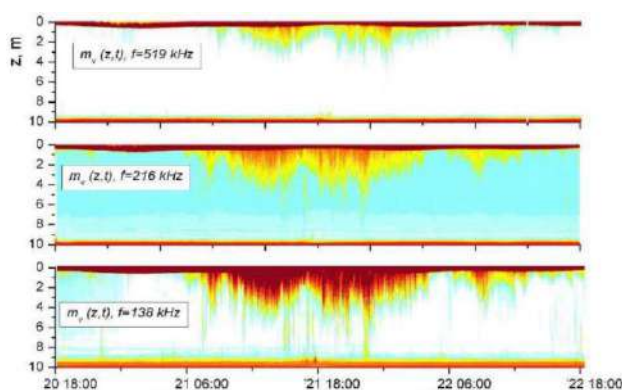


Рис. 4 - Варіації коефіцієнта розсіювання звуку на частотах 138, 216, 519 кГц [7]

На рис. 4 видно, що в умовах аномального зростання кількості газових бульбашок в період з 6 години 21 числа до 6 години 22 числа, інтенсивність отриманого зворотного сигналу за рахунок, мабуть розсіювання, максимальна на частоті 138 кГц і мінімальна на частоті 512 кГц. Слід враховувати, що частоті 138 кГц відповідає довжина хвилі близька до 1 см, а на частоті 512 кГц – 0,3 см (див. табл.).

В поверхневому шарі газові бульбашки мають розміри, недостатні для відбиття акустичного сигналу. Тому наявність зворотного сигналу на ехограмі свідчить про отримання саме розсіяного сигналу. Розсіювання формується бульбашками резонансного розміру – чим вище частота, тим менше розмір резонансних бульбашок. Як було констатовано вище, дрібні бульбашки діаметром менше 0.025 мм

розчиняються у воді. Тому на частоті 519 кГц, розсіювання акустичного сигналу резонансними бульбашками практично неможливе. Тут також слід звернути увагу, що у повітрі ультразвук з частотами більшими 300 кГц не розповсюджується (відбувається повне поглинання).

Таблиця - Дальність дії гідроакустичних систем залежно від частоти (довжини) акустичної хвилі [8]

Частота акустичного сигналу	Довжина хвилі акустичного сигналу	Дальність дії
100 Гц	15 м	1000 км і більше
1 кГц	1,5 м	100 км і більше
10 кГц	15 см	10 км
25 кГц	6 см	3 км
50 кГц	3 см	1 км
100 кГц	1,5 см	600 м
500 кГц	3 мм	150 м
1000кГц	1,5 мм	50 м

Загальновідомо, що для газових виходів з морського дна, в придонному шарі характерні діаметри бульбашок знаходяться в межах 1 - 10 мм [9]. Згідно з наведеними в роботі даними, розміри спостережених бульбашок в різних частинах газових факелів не перевищували 17.3 мм, тому, всі вони мають сферичну або еліпсоїдальну форму. У міру підняття до поверхні діаметри бульбашок можуть збільшуватися до 50 мм.

В роботі [3] наведено результати досліджень впливу газових бульбашок, що генеруються при виділенні газів з морського дна на глибині 90 м, на розсіювання акустичного сигналу з частотою 38 кГц. Згідно таблиці 1, частоті випромінювання 38 кГц відповідає довжина хвилі приблизно 4 см. Тобто бульбашки газового струменя з типовим діаметром 1 см не є співвимірними з довжиною акустичної хвилі і не відбивають акустичний сигнал. На рис. 5, показано значення сили об'ємного зворотного розсіювання при перетинанні акустичного фронту газового струменя.

Визначено, що значення сили об'ємного зворотного розсіювання в середині газового струменя змінюється на 15 дБ.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

В роботі [10] наведена інформація про те, що газова бульбашка в рідині характерна своєю високою ефективністю розсіювання монопольного типу: бульбашка завжди розсіює багато більше, ніж абсолютно жорстка перешкода того ж розміру. Починаючи з деякої частоти, перетин розсіювання бульбашки перевершує його поперечний переріз, а поблизу резонансної частоти пульсацій бульбашки у

воді перетин розсіювання перевершує його поперечний переріз у тисячі разів [11].

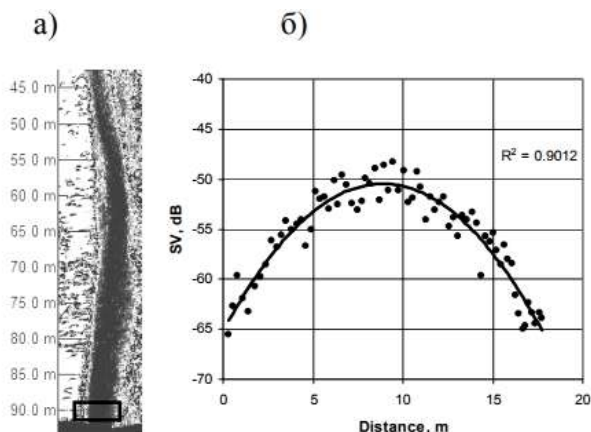


Рис. 5 - Аналіз ехо-сигналу від газового виходу на морському дні при перетині ним озвученого об'єму: а) ехограма на частоті зондування 38 кГц. Область інтегрування відзначена прямокутником; б) точками зображені усереднені значення сили об'ємного зворотного розсіювання [3]

Експериментально встановлено, що при збільшенні глибини резонансний радіус бульбашки збільшується. Так для частоти 38 кГц на поверхні резонансний радіус бульбашки становить 0,1 мм, а на глибині 200 м для тієї ж частоти збільшується до 0,4 мм.

Однак, в останній час виникає дуже багато питань, стосовно відповідності результатів теоретичних досліджень даним експериментальних спостережень. Розглянемо отриману експериментально залежність (рис. 6) розсіювання звуку від радіуса бульбашки [10].

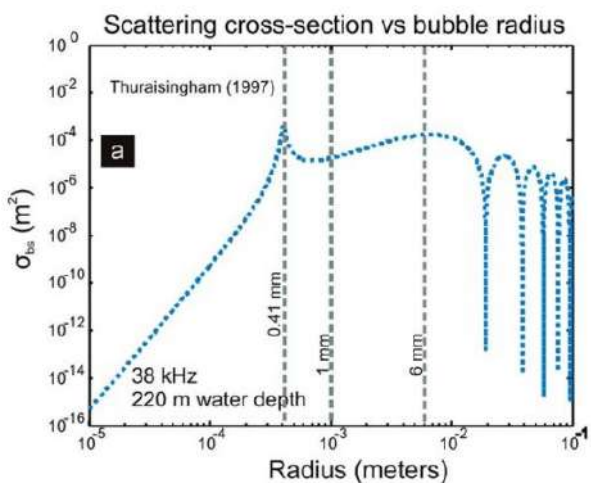


Рис. 6 - Залежність розсіювання (частота випромінювання 38 кГц, глибина 220 м) від радіуса бульбашки [10]

На рис. 6 показано, що для бульбашок радіусом 0,41-10 мм розсіювання звуку для частоти 38 кГц є суттєвим (умови експерименту відповідають глибині 220 м). Експериментально встановлено, що розсіювання на газових бульбашках для частоти випромінювання 38 кГц, різко зростає, починаючи з розміру бульбашки 0,0002 мм до 0,41 і в подальшому залишається стабільно високим. При збільшенні розміру газової бульбашки відбуваються аномальні явища: високий рівень розсіювання змінюється на дуже низький. Безумовно, описаний вище ефект потребує подальшого вивчення та фізичного обґрунтування, адже не вписується в стандартні (класичні) норми розуміння резонансного розсіювання акустичної енергії газовими бульбашками у водному середовищі.

Загальновідомо, що на частотах до 50 кГц зворотний акустичний сигнал від газових бульбашок генерується процесами розсіювання на резонансних частотах. Але в умовах, коли довжина акустичної хвилі (частота випромінювання вище 60 кГц) стає співвимірною з розміром бульбашок газового струменя (типовий розмір 1 см), повинне формуватися відбите випромінювання. З другого боку, для частоти вище за 60 кГц, резонансний діаметр газової бульбашки зменшується до 0,1 мм, а бульбашки такого діаметру для виходів газу з морського дна, на відміну від умов поверхневого шару моря при хвилюванні, вже не є типовими. Тобто на частотах, менших 60 кГц бульбашки газу, що виділяються з морського дна, є акустичними перешкодами за рахунок ефекту розсіювання звуку бульбашками резонансного розміру, а на частотах вище 60 кГц, виходи газу з морського дна стають акустичною перешкодою за рахунок відбиття бульбашками акустичної хвилі. Слід зазначити, що це питання досліджено недостатньо.

Виклад основного матеріалу

Відомо, що "ехографічні газові факели" є лише "акустичними образами" реальних струменевих газовиділень, фізичні розміри яких буває важко оцінити за ехограмами, як це ілюструється на рис. 7 [12]. На рисунку показаний "акустичний образ" потужного виділення метану з газогідратного поля (дебіт тільки одного газового джерела становив 3.5 л/хв.). Ехограма, записана при детектуванні газового факела ехолотом Parasound з робочою частотою 18 кГц.

Слід зазначити, що на частоті 18 кГц процес фіксації газових бульбашок відбувається виключно за рахунок реєстрації сили об'ємного зворотного розсіювання бульбашками резонансного діаметру.

На рис. 8 показані ехограми газових виходів з морського дна, отримані ехолотом SIMRAD на частоті 50 кГц та 200 кГц.

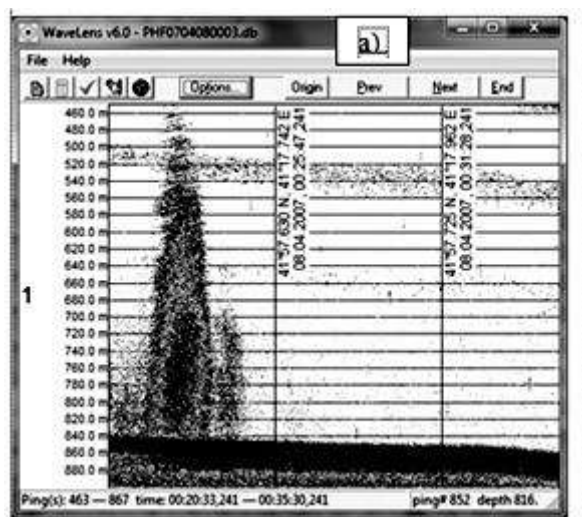


Рис. 7 - Ехограма газового факела ехолотом Parasound з робочою частотою 18 кГц [12]

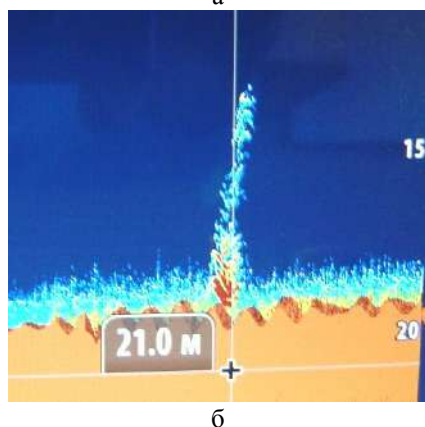
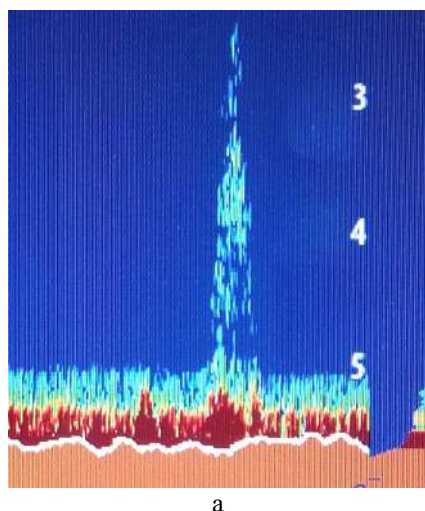


Рис. 8 – Сонограми виходів газу, отримані ехолотом SIMRAD: а - частота 50 кГц; б- частота 200 кГц

Можна відмітити що на частоті 50 кГц (довжина хвилі 3 см) сила відбиття акустичної хвилі невелика, адже бульбашок діаметром 3 см у газовому факелі невеликий відсоток, а резонансне випромінювання практично не генерується, бо

бульбашок резонансного діаметру відсоток також малий. На частоті 200 кГц (довжина хвилі 0,7 см) ехограма газового виходу більш потужна, адже бульбашки мають типовий розмір 1 см, тобто відбиття акустичної енергії такої частоти є домінуючим.

На рис. 9 показано ехограму детектування газових струменів від двох аквалангістів ехолотом з робочою частотою 200 кГц та гідролокатором бічного огляду з частотою 800 кГц.

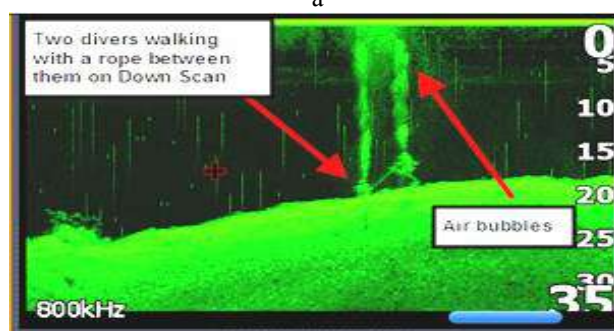
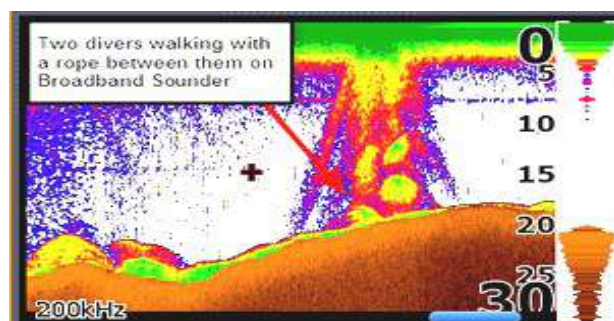


Рис. 9 – Ехограми детектування двох аквалангістів гідролокатором бічного огляду з частотою 200 кГц (а) та ехолотом з робочою частотою 800 кГц (б) [12]

На ехограмах видно, що газові струмені від аквалангістів на частоті 200 кГц детектуються як цілі, просторові розміри яких значно відрізняються від реальних розмірів, а на частоті 800 кГц є більш реальними.

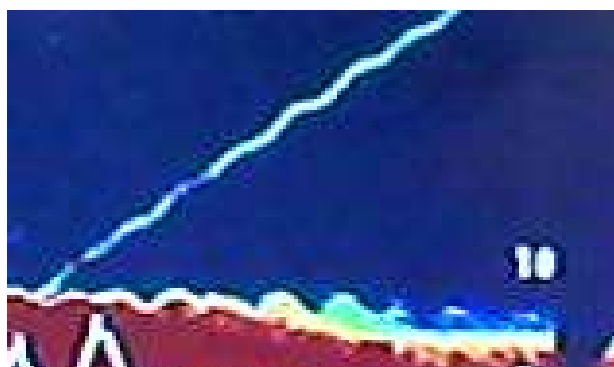


Рис. 10 – Фото реєстрації сонограми на частоті 200 кГц спливаючої газової бульбашки діаметром 1-2 см

На рис. 9 можна побачити, що бульбашка діаметром 1-2 см на сонограмі відображається значно більшою, її акустичний образ має розмір близький до 50 см. Цей ефект є безумовно позитивним для визначення підводних цілей акустичними методами.

Таким чином нами показано, що частотний діапазон 40-50 кГц слід вважати таким, в якому негативний вплив газових виходів за рахунок розсіювання вже невеликий, а за рахунок відбиття акустичної хвилі – ще невеликий.

З метою дослідження ефекту створення виходами газу на морському дні природних акустичних перешкод, було сплановано і виконано експеримент, в якому був задіяний генератор газових бульбашок, який створював умови виходу газу, що відповідають існуючим в природних умовах. На рис. 11 показано фото штучно створеної газової завіси довжиною 10 м.

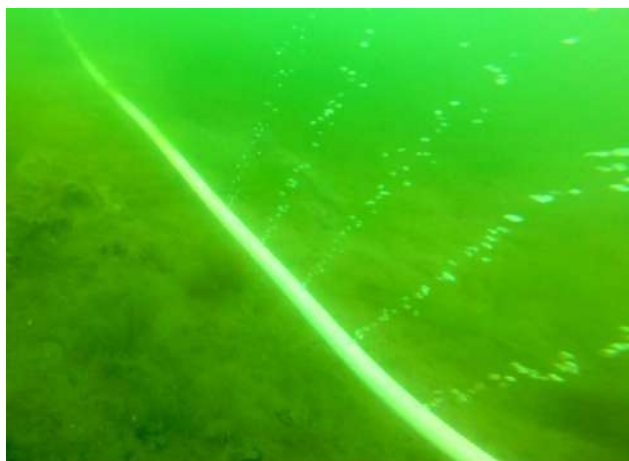


Рис. 11 – Фото газової завіси

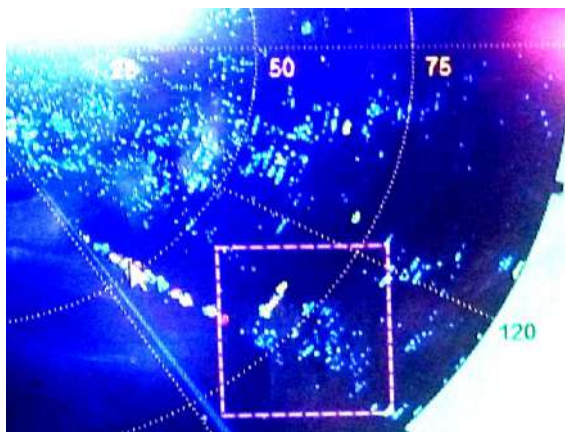


Рис. 12 - Фото сонарного зображення газової завіси, що знаходиться у квадраті

Визначення спроможності газової завіси відбивати гідроакустичний сигнал на частоті 60 кГц перевірялось шляхом фіксації цілі перед і за газовою завісою в натурних умовах. Вважається, якщо ціль не

фіксується за завісою, то газові бульбашки відбивають акустичний сигнал. На рис. 12 наведена отримана сонограма газової завіси, що показана на рис. 11.

На рис. 12 в межах квадрату показано ефект відбиття газової завіси, а стрілкою – відбиття акустичного сигналу від бетонного пірсу. Слід зазначити, що на частоті 60 кГц сила відбиття акустичного сигналу від пірсу практично не відрізняється від отриманого сигналу від газової завіси. Цей результат свідчить про те, що на частоті 60 кГц бульбашки відбивають, а не розсіюють енергію.

Висновки

В результаті дослідження ефекту розсіювання та відбиття акустичного сигналу від виходів газу з морського дна показано, що на відміну від газових бульбашок, які генеруються під час шторму в поверхневому шарі моря та реєструються гідролокаторами, як результат розсіювання акустичного сигналу бульбашками резонансного розміру, виходи газу з морського дна на частотах, більших 60 кГц, реєструються гідролокаторами переважно як результат відбиття акустичного сигналу. При реєстрації викидів газу з морського дна, частотний діапазон 40-50 кГц слід вважати таким, в якому створення акустичних перешкод за рахунок розсіювання вже невеликий, а за рахунок відбиття акустичної хвилі – ще невеликий.

Список літератури

1. Гладких, И. И. Влияние подводных газовых струй на достоверность результатов морских гидроакустических измерений / И. И. Гладких, Н. В. Кучеренко, М. Б. Капочкина, В. Ю. Зорин // *Научно-технический журнал "Первый независимый научный вестник"* – 2016. – Т. 300, № 8. – С. 72–78.
2. Шнюков, Е. Ф., Янко, В. В. Газоотдача дна Черного моря: геолого-поисковое, экологическое и навигационное значение / Е. Ф. Шнюков, В. В. Янко // *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. Загальна та морська геологія.* – 2014. – Т. 19 – вип. 4.
3. Артёмов, Ю. Г. Распределение и потоки метановых струйных газовыделений в Черном море / Ю. Г. Артёмов: дис. ... канд. геогр. наук. – Севастополь, 2014. С. 109.
4. Шнюков, Е. Ф. Газовый вулканизм Черного моря / Е. Ф. Шнюков, В. П. Коболев, А. А. Пасынков. – К.: Логос, 2013. – С. 383.
5. Учитель, И. Л. Смена парадигмы современной геодинамики и сейсмоструктоники / И. Л. Учитель, Б. Б. Капочкин. – Academic Publishing LAP LAMBERT, 2014. – С. 80.
6. Starostenko, V. Methane in the northern Black Sea: characterization of its geomorphological and geological Environments / V. Starostenko, I. Rusakov, O. Shnyukov, E. Koboylev, V. Kutas // *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform.*

- Geological Society, London, Special Publications*. – 2010. – Т. 340, Р. 57–75. – doi:10.1144/SP340.5.
7. Буланов, В. А. Особенности рассеяния звука и структура микронеоднородностей в мелком море [Електронний ресурс] / В. А. Буланов, А. В. Стороженко // Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева ДВО РАН. URL: http://pacificinfo.ru/data/cdrom/11/inc/r4_pdf/shultz/7.pdf.
 8. Михайлов, В. І. Теоретичні проблеми застосування ІЧ та НВЧ радіометрії на прикладі супутникового проекту NASA – JAXA / В. І. Михайлов, Н. В. Кучеренко, О. Г. Барган // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. – 2016. – № 25. – С. 138–146. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.25.21.
 9. Leifer, I. The bubble mechanism for methane transport from the shallow sea bed to the surface: a review and sensitivity study / I. Leifer, R. Patro // *Continental shelf research, Elsevier Science Publishing Company* – 2002. – vol. 22, №16. – P. 2409–2428.
 10. A new methodology for quantifying bubble flow rates in deep water using splitbeam echosounders [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/276150659_A_new_methodology_for_quantifying_bubble_flow_rates_in_deep_water_using_splitbeam_echosounders_Examples_from_the_Arctic_offshore_NW-Svalbard
 11. Исакович, М. А. Общая акустика / М. А. Исакович. – Изд-во «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. Учебное пособие, 1973.
 12. Bohrmann, G. Marine gas hydrates of the Eastern Black Sea / G. Bohrmann, T. Pape // *Report and preliminary results of R/V METEOR Cruise M72/3*. – Bremen. – 2007. – 130 p.
 3. Artemov, Yu.G. *Raspredelenie i potoki metanovykh struynykh gazovykh razvlecheniy v Chernom more: dis. ... kand. geogr. nauk* [Distribution and fluxes of methane jet gas emissions in the Black Sea *PhD. geogr. sci. diss.*]. Sevastopol, 2014. 109.
 4. Shnyukov, E. F. *Gazovyy vulkanizm Chernogo morya* [Gas volcanism of the Black Sea], K.: Logos, 2013, 383.
 5. Uchitel, I., Kapochkin, B. *Smena paradigmy sovremennoy geodinamiki i seysmotektoniki* [Changing the paradigm of modern geodynamics and seismotectonics], Academic Publishing LAP LAMBERT, 2014, 80.
 6. Starostenko, V. I., Rusakov, O. M., Shnyukov, E. F., Kobolev, V. P., Kutas, R. I. Methane in the northern Black Sea: characterization of its geomorphological and geological Environments. *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society, London, Special Publications*, 2010, **340**, 57–75, doi:10.1144/SP340.5.
 7. Bulanov, V. A., Storozhenko, A. V. *Osobennosti rassenyaniya zvuka i struktura mikhroednorodnostey v melkom more* [Features of sound scattering and the structure of microinhomogeneities in the shallow sea]. *Tikhookeanskiy okeanologicheskii institut imeni V.I. Il'icheva DVO RAN* [The Pacific Oceanological Institute named after V. I. Ilyichev FEB RAS]. Available at: http://pacificinfo.ru/data/cdrom/11/inc/r4_pdf/shultz/7.pdf
 8. Mikhailov, V. I., Kucherenko, N. V., Bargan, O. G. *Teoreticheskiye problemy zastosuvannya ICh ta NVCh radiometrii na prikladi suputnikovogo proektu NASA – JAXA* [Theoretical problems of the stuck IR and AHF radiometry on the application of the satellite project NASA – JAXA]. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu "Kharkivskiy politekhnichnyi institut"*. [Journal of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"], Series: *New solutions in modern technologies*, 2016, **25**, 138–146, doi: 10.20998/2413-4295.2016.25.21.
 9. Leifer, I.I., Patro, R.K., The bubble mechanism for methane transport from the shallow sea bed to the surface: a review and sensitivity study. *Continental shelf research, Elsevier Science Publishing Company*, 2002, **22**, №16, 2409–2428.
 10. A new methodology for quantifying bubble flow rates in deep water using splitbeam echosounders. Available at: https://www.researchgate.net/publication/276150659_A_new_methodology_for_quantifying_bubble_flow_rates_in_deep_water_using_splitbeam_echosounders_Examples_from_the_Arctic_offshore_NW-Svalbard
 11. Isakovich, M. A. *Obshchaya akustika* [General acoustics], Tutorial. *Nauka Publishers, Main Editorial of Physical and Mathematical Literature, Moscow*, 1973. Available at: http://sci.sernam.ru/book_gac.php?id=113
 12. Bohrmann, G., Pape, T. Marine gas hydrates of the Eastern Black Sea. *Report and preliminary results of R/V METEOR Cruise M72/3*, Bremen., 2007, 130 p.

Bibliography (transliterated)

Відомості про авторів (About authors)

Гладких Ігор Іванович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, МПП «ТСБ», м. Одеса, Україна, e-mail: gladkykh958@gmail.com.

Igor Gladkikh – doctor of engineering sciences, professor, leading researcher, private company 'TSB', Odesa, Ukraine, e-mail: gladkykh958@gmail.com.

Капочкін Борис Борисович – кандидат геолого-мінералогічних наук, провідний науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: tsb1@ukr.net.

Boris Kapochkin - doctor of philosophy, Senior Researcher, Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " c. Odessa, Ukraine, e-mail: tsb1@ukr.net.

Кучеренко Наталія Василівна – кандидат географічних наук, доцент, провідний науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: tsb1@ukr.net.

Natalia Kucherenko - Candidate of Geographical Sciences, associate professor, Senior Researcher, Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " c. Odessa, Ukraine , e-mail: tsb1@ukr.net.

Капочкіна Маргарита Борисівна – молодший науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: margo-92@ukr.net.

Marharyta Kapochkina - junior scientist, Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " c. Odessa, Ukraine, e-mail: margo-92@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Гладких, І. І. Фізичні принципи створення гідроакустичних перешкод струменевими виходами газу з морського дна / **І. І. Гладких, Б. Б. Капочкін, Н. В. Кучеренко, М. Б. Капочкіна** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 90-97. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.13.

Please cite this article as:

Gladkykh, I. I., Kapochkin, B., Kucherenko, N., Kapochkina, M. Physical principles of creation hydroacoustic barrier gas jet exit from the seabed. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 90-97, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.13.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Гладких, И. И. Физические принципы создания гидроакустических помех струйными выходами газа с морского дна / **И. И. Гладких, Б. Б. Капочкин, Н. В. Кучеренко, М. Б. Капочкина** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 90-97. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.13.

АННОТАЦИЯ Целью работы является определение физического механизма генерации акустических образов струйных выходов газа с морского дна. Для достижения указанной цели исследована зависимость рассеяния и отражения звука в воде от частоты звука и диаметра пузырьков. Рассмотрена проблема формирования газовыми потоками метана, выделяющегося из морского дна, естественных акустических помех. Показано, что в Черном море обнаружено более 5000 газовых выходов. Изучены пространственные масштабы газовых выходов в Черном море, создающие природные акустические помехи. Рассмотрены теоретические вопросы дифференциации рассеяния и отражения звука от газовых пузырьков разного размера в зависимости от частоты акустических волн. В примере газовых пузырьков, образованных поверхностным волнением (размеры пузырьков измеряются первыми миллиметрами) и пузырьков метановых газовых струй (размеры пузырьков измеряются практически сантиметрами), показаны различия в физических механизмах их фиксации методами гидролокации. Сделано вывод, что в частотном диапазоне 40-50 кГц газовые струи создают минимальные помехи. Приведены результаты экспериментальных работ по изучению гидроакустических помех, создаваемых газовыми пузырьками при использовании гидролокации на рабочей частоте 60 кГц. Эксперимент выполнен с использованием гидролокатора, генератора газовых пузырьков, телеуправляемого подводного аппарата. В качестве цели использован аквалангист.

Ключевые слова: газовые пузырьки; рассеяние звука; отражение звука; резонансная частота рассеяния акустического сигнала; гидроакустика; звуковые акустические волны; ультразвуковые акустические волны.

Надійшла (received) 16.03.2018